

行動的覚醒維持法によるマイクロスリープの実験的検討

広 重 佳 治

地域学論集（鳥取大学地域学部紀要）第1巻 第1号 抜刷

REGIONAL STUDIES (TOTTORI UNIVERSITY JOURNAL OF THE FACULTY OF REGIONAL SCIENCES) Vol. 1/No.1

平成16年11月30日発行 November 30, 2004

行動的覚醒維持法によるマイクロスリープの実験的検討

広重 佳治*

キーワード： マイクロスリープ、覚醒と睡眠の移行、交代式 tap 運動、感圧センサ

はじめに

覚醒と睡眠の移行は連続的であると推測されているが (Kleitman, 1987), その連続性を実証したとする報告はない。脳波・眼球運動・筋電位からなる睡眠ポリグラフ記録 (polysomnography) は確かに時々刻々と推移する覚醒水準の様相をみせてくれるが、では人が眠りにつく入眠 (sleep onset) はいつであるのか、あるいは覚醒はどこで終了したのか、そうした意識状態の変化点を特定することは残念ながらできていない。現代の睡眠科学が用いる睡眠段階は睡眠ポリグラフ記録に基づいて判定される眠りの深さの生理学的対件であるが、比較的長く続く安定状態 (通常 30 秒~60 秒) を前提としているから、これでもって入眠の特定あるいは判定を行うことはそれ自体に無理がある。加えて、入眠判定には段階 1 基準や段階 2 基準の併用という定義の多義性の問題もある。こうした事情を背景に次のような一つの答えが導かれている。つまり、入眠はこれを実体として特定することには意味がなく、生理と行動それぞれの水準で操作的に定義された概念にすぎないとする考えである (Rechtschaffen, 1994)。そうした操作主義が問題の解決にどれほど有効であるかは定かでない。他方で、覚醒と睡眠の移行問題に新しい視点を持ち込む試みがある。その研究例としては生理・行動・心理変数による入眠期の収束的推定 (Ogilvie, Wilkinson, & Allison, 1989), 入眠期の脳波段階分類 (Hori, Hayashi, & Morikawa, 1994) あるいは緩徐眼球運動 (slow eye movements: SEMs) の消長を主徴とする入眠状態のモデル化 (広重, 2002) などがある。これらのアプローチは伝統的な睡眠段階 (特に、段階 1) の見直しの必要性を示唆している。

覚醒状態に唐突かつ瞬時に割り込む微小な睡眠であるマイクロスリープ (microsleep) は、覚醒と睡眠の移行関係を検証する上で興味深い現象と思われる。その時間的な短命さにもかかわらず、マイクロスリープは日常生活の行動に与える影響が意外と大きい意識状態であると考えられる。そのことをもっとも端的に示す臨床像は「自動行動症候群 (automatic behavior syndrome)」と呼ばれる症状である。これは自動車の運転、食器洗い、コンピュータの操作、料理などの最中に突如、行為の自覚が消え失せて方向や位置の空間定位あるいは時間的連続性の意識が一時的に欠落し、その結果、しくじり行為とか生命に関わる危険な行為をくり返す行動状態である (Guilleminaut, Billard, Montplaisir, & Dement, 1975; Horne & Reyner, 1995)。自動行動症候群は過度の眠気を訴える過眠症患者 (hypersomnics) で特に顕著であるとされているが、健常者においても長距離夜行列車の運転 (Åkerstedt, 1988), 連続 72 時間以上の全断眠状態 (Johnson, 1982) あるいは単純作業事態 (Carskadon & Dement, 1979) で同様の行動状態がみられている。

* 地域教育学科 (Department of Regional Education)

マイクロスリープの生理的特徴に関する詳細な報告は多くないようであるが、一般に α 波の欠如あるいは θ 波や頭頂部鋭波の出現という脳波像 (Guilleminaut, Billard, Montplaisir, & Dement, 1975), SEMs の出現 (Harrison & Horne, 1996) が認められている。そうした特徴からマイクロスリープを段階 1 の未成熟で断片的な出現と同義とみなす類推が生まれやすいが、そうした考え方は経過の長い安定状態を想定した段階概念とは明らかに矛盾する。生理指標のみでマイクロスリープを特徴づけることは容易でないと思われる。マイクロスリープの行動的特徴の解明は、その生理的特徴へのアプローチにおいて基本となる外的枠組みを提供するものと考えられる。「自動行動症候群」やそれに類した行動から推測されるように、その行動的特徴を実験的に検証する際には、次のような被験者ペースの単調な作業場面を用意する必要があるだろう。その場面とは、十分に目覚めた状態 (wakefulness) を背景に睡眠に類した状態へ短時間の移行を許すものであり、かつ眠気を感じてもそれに耐えて覚醒を維持し作業を継続する「最善の努力」 (Kamiya, 1961) を求めるものである。手元のスイッチをリズムカルに繰り返し押す tap 運動の作業課題は、運動制御の継続努力が被験者ペースで行われること、覚醒から睡眠への自然な移行を損なう危険性が小さいことから、マイクロスリープへの行動的アプローチ法としての有用性が期待できると思われる。初期の tap 運動研究 (Anliker, 1963) は、被験者自身が黙唱で見積った主観的な 3 秒間隔に合わせて電鍵キーを繰り返し押す手続きを用いて入眠過程における時間知覚と α 波の消長との関係を調べている。それによると tap 間隔は α 波の振幅減少と比例して延長するとされた (10~60 秒)。その後の断眠研究においても tap 間隔の延長には α 波抑制あるいは段階 1 の脳波パターン、さらには緩徐眼球運動などの生理的変化の随伴性が確認されており、tap 運動は入眠傾向やマイクロスリープあるいは眠気などの行動的検査法としての可能性がかなり高いことが示唆されている (Carskadon & Kleitman, 1979; Casagrande, Braibanti, Gennaro, Violanti, & Bertini, 1991; Casagrande, Testa, Violani, Mastrantonio, & Bertini, 1994; Casagrande, Testa, Violani, Gennaro, & Bertini, 1996 など)。

ところで、tap 運動の間隔延長を文字通り間隔延長と受け取ってよいのかどうかは、方法論的な検討が必要であろう。なぜなら上述の研究では専ら押しボタン式スイッチや電鍵キーなどが使用されているが、そうした機械的スイッチはそのメカニカルな制約から全無応答形式の情報 (一定の閾値を越えた荷重圧のみにインパルス形式の応答) を提供するにとどまっている。そのため、閾値傍の微弱であるが有意な荷重圧のいくつかは検出されず、結果として見かけ上の間隔延長が記録された可能性が少なくない。さらに、間隔延長などの誤反応は認知 (時間知覚、運動維持) の変容によるものではなく、筋緊張水準の低下という 2 次的効果であるかもしれない。睡眠時の運動応答を調べる場合は筋緊張の同時計測が必要であるとされているが (Kamiya, 1961), これを実現した研究例はほとんどないようである。著者ら (広重・Dorokhov・保野, 1994) は、tap 運動のスイッチとして感圧センサシステムを用いてセンサにかかる荷重圧の連続的な変動パターンから筋緊張をとらえる行動的計測法を検討し、その可能性を確認している。

本研究は覚醒と睡眠の移行関係を理解するモデルとしてマイクロスリープに着目し、その行動的な出現様式を tap 運動の変容の点から解明することを目的として行われた。tap 運動は個々の tap が互いに連絡なしに独立して遂行されるとは考え難く、むしろ、先行 tap の遂行状態が悪いとこれを修正する形で後続 tap が実行されるというように先行 tap の遂行結果を受けて後続 tap のあり方が定まると考えるのが経験的な事実に近い、そうした運動情報の受け渡しを司る上位機能を想定するほうが理に適っていると考えられる。本研究は左右の手を交代させつつ一定回数の tap を遂行する被験者ペースの交代式 tap 運動を用いることで、個々の tap の遂行機能と運動情報の受け渡しに

関わる維持機能の区別を手続きの点から明確にした。

方法

被験者 心身とも健康で睡眠障害のない大学生 21 名（年齢 20～24 歳）が参加し、実験の目的と手続きについて同意を得た。

記録 8 チャンネルの睡眠ポリグラフ記録（日本光電製 RM-6000）を実施した。脳波（時定数 0.3 秒）は中心部（C3, C4）と後頭部（O1, O2）より、水平眼球運動（時定数 6 秒）は左右眼窩外側縁部よりそれぞれ基準電極法（左乳様頭突起を基準電極部）で導出し AC 増幅した。同時に、左右の手で行う tap 運動を DC 増幅した。加圧により抵抗値が変化するポリマーを導電体で挟んだ小型・軽量・柔構造の感圧センサ（force sensing register）を tap 運動のスイッチとして採用し、感圧センサの抵抗値をアナログ電圧に変換して出力した（DKH 社製）。センサの応答特性は荷重圧 1Kg までの範囲でほぼ直線的であった。

手続き 被験者ペースの交代式 tap 運動を課す行動的覚醒維持（behavioral maintenance of wakefulness）の手続きを用いた。被験者は左右の手の第 1 指に両面テープで貼りつけた感圧センサスイッチを、同側手の第 2 指外側に 1Kg 前後の荷重圧で軽く反復して押しつける運動（tap 運動）を遂行した。練習日に、被験者は感圧センサスイッチに加える荷重圧の制御、黙唱で 1 秒間隔を見積もりながらスイッチを押す運動（時間知覚）の要領を体得した。実験日は訓練日より数日後の午後の時間帯（13 時～17 時）に設定した。被験者は電極と感圧センサスイッチの装着後、電氣的にシールドされた半防音・暗室内の安楽椅子に座した。40 分間の交代式 tap 運動は次の要領で実施された。安静閉眼の記録を数分間行った後、開始音（80dB, 背景騒音 30dB）とともに、被験者は 1 秒間隔を黙唱で見積もりながらまず右手のスイッチを 10 回くり返し押し、続いて左手のスイッチを同様に 10 回押し、再び右手に戻るといった要領で左右の手を切り替えながら tap 運動をできる限り長く持続した。途中で短時間眠ってしまうなどの理由で 70 秒間 tap 運動が停止すると、運動の再開を合図する刺激音が自動的に提示された。

データ分析 睡眠段階は 5 つの脳波・眼球運動段階に分類した。まず国際基準（Rechtschaffen & Kales, 1968）に準じて 10 秒区画毎に中心部脳波（C3）を覚醒、段階 1 および段階 2 に判定し、覚醒を緩徐眼球運動（SEMs）を伴う段階 W+SEM と SEMs を伴わない段階 W+NSEM とに二分した。さらに、段階 1 のうち頭頂部鋭波を伴う区画を段階 1S として段階 1 から区別した。記録データは標本化周波数 100Hz で AD 変換し、画像ファイル並びにテキストファイルとして保存した（BIOPAC Systems 社製 MP100WS）。中心部と後頭部脳波の α 波出現量率（%time alpha）を 10 秒区画毎に自動計測した（平野・広重, 2001）。本計測法は原脳波と位相の歪みがない濾過波を出力する有限インパルス応答（finite impulse response : FIR）フィルタの帯域幅を 8Hz から 13Hz に設定し、閾値 $5 \mu V$ を超える濾過波の頂点間時間と瞬時周波数を読み取り、瞬時周波数が α 帯域内に落ちる濾過波の頂点間時間の合計値を 10 秒当たりの百分率に換算した。SEMs は眼球運動の自動計測法を用いて検出し、波形の特徴抽出パラメータを測定した（広重, 1999）。

tap 運動のデータ処理は、眼球運動の自動計測法（REMs 検出アルゴリズム）を一部修正したものを用いた。Fig. 1 に tap 運動の計測例を示した。AD 変換された tap 荷重圧の時系列にステップ 20ms で順次移動する窓（時間長 100ms）を通して直線回帰分析を行い、立ち上がり時点（速度指数 $VELOCITY: |\theta| \geq 85 \text{ 度}/\Delta t$ となる時点）から停留時点（ $|\theta| \leq 60 \text{ 度}/\Delta t$ となる時点）までの経過時

間が 400ms 以下で荷重圧差 (最大荷重圧) が 40 g 以上となる tap を検出し, 最大荷重圧 (FSR), 出現時刻 (TIME) および隣り合った tap の時間間隔を自動計測した。図に示すように, tap 運動の出現様態は, (A) 高荷重圧の tap が安定した間隔で継続する場合, あるいは (B) 荷重圧が急激な低減を示す場合, さらには (C) 荷重圧と間隔がともに不安定で大きく動揺する場合など, 非常に多様である。本計測法はそうした予測し難い変動をみせる個々の tap を的確に検出し, その出現時点と荷重圧についてかなり高い精度の計測値を与えた。

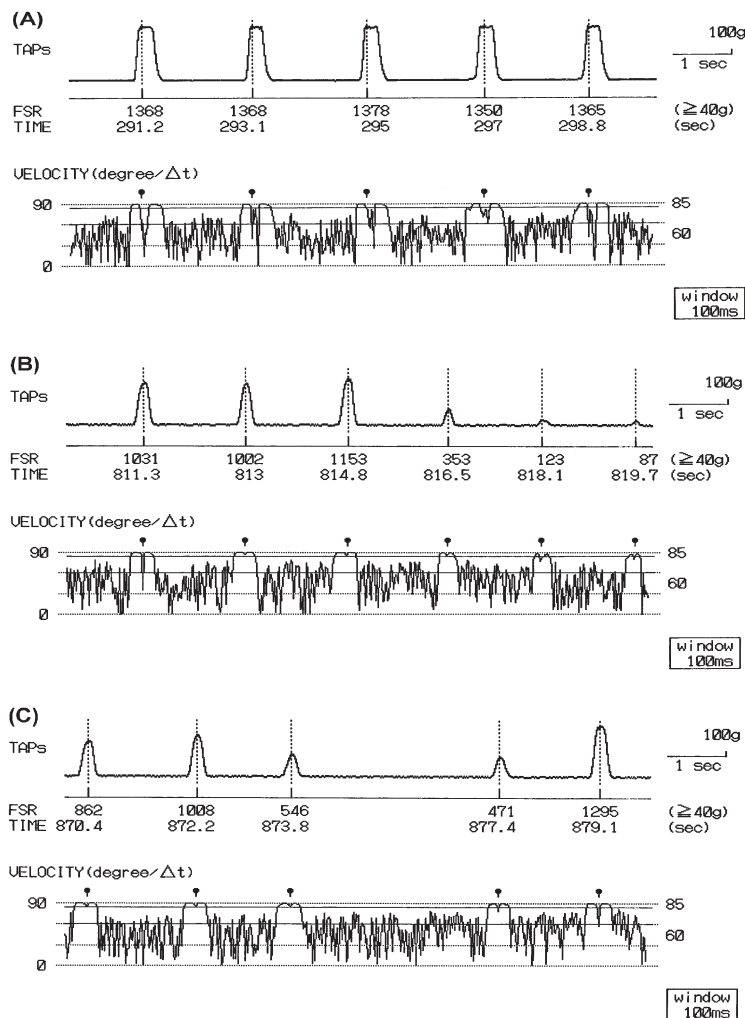


Fig. 1 tap 運動の自動計測例

(A), (B), (C)に示すように tap 運動の現れ方は多様であるが, 荷重圧 (FSR : 40g 以上を検出) と出現時点 (TIME : 1/10 秒の精度で表示) を的確に計測した。VELOCITY (degree/ Δt) : 100ms の検出窓内で算出した移動式回帰直線の傾き (絶対値) は荷重圧の急激な上昇・下降に鋭敏に応答した。

結果

入眠潜時 tap 運動の 70 秒間停止は 11 名の被験者で観察された。運動停止に伴う音刺激の提示回数は平均 4.6 回（範囲 1～14）であった。音刺激が提示されるまでの経過時間を提示回数別に調べたところ、初回の音刺激の経過時間が最も長く（ 1091.3 ± 408.7 秒），2 回目以降の音刺激においては急速に経過時間が短縮し，被験者数も半減した（経過時間：80～367 秒，被験者数：1～7 名）。そこで初回の音刺激提示までの経過時間を tap 運動停止潜時として計測し，段階 1 潜時および段階 1 S 潜時（それぞれ消灯からの経過時間）と比較した。9 名のデータにおいて，段階 1 から段階 1 S を経て tap 運動の停止に至るという入眠潜時の順序性が認められたので，本稿はそのうちの 3 名（Ih, Tn, Ym）のデータを選び出し分析した。その 3 名の入眠潜時（秒）の平均は段階 1（ 680.0 ± 208.3 ）＜段階 1 S（ 1266.7 ± 52.5 ）＜tap 運動停止（ 1480.0 ± 92.0 ）の順に延長し，統計的に有意であった（ $\chi^2=6.00$, $df=2$, $p<0.01$ ）：それぞれ Ih：870, 1240, 1420 秒，Tn：390, 1220, 1410 秒，Ym：780, 1340, 1610 秒。

記録例 Fig. 2 に，初回の音刺激提示に至るまでの脳波（EEG），眼球運動（EOG）および交代式 tap 運動（TAP Right と Tap Left）のポリグラフ記録の一例を圧縮して図示した。本図より，左右の手による tap 運動がまるで櫛の歯が抜けるように変化してゆく様子を概観することができる。記録開始当初 5～6 分間の tap 運動は手続きにほぼ忠実に実行されており，運動パラメータの荷重圧は高くほぼ安定して維持され，左右の手の切り替えも規則的に行われた。本図は圧縮されているため個々の tap の判読はできないが，左右の tap 運動チャンネルには黒い束状の固まりとして一定数の tap の並びが交互に記録された。しかし，脳波上に体動が記録された 14 分前後から EOG 曲線上には大きく緩やかな上下変動とし記録される緩徐眼球運動（SEMs）の出現が顕著となり，これと対応して tap 運動は回数，荷重圧，間隔などのパラメータの制御が困難となり始めた（回数の減少，荷重圧の低下，間隔延長）。櫛の歯の抜け落ち現象が顕在化した。実験開始より 22 分余りが過ぎると，手の切り替えも不完全となって右手優位の運動へと変化し，ついに運動の停止に至った。音刺激（tone）が提示される直前数分間は中心部脳波（EEG C3）が高振幅徐波化し，段階 1 S および段階 2 と判定される睡眠の初期状態にあった。

圧縮記録の時点 A, B, C における tap 運動と脳波および眼球運動の記録を Fig. 3 に拡大表示し，その特徴を詳細に観察した。時点 A では背景脳波（特に後頭部）に α 活動の持続的な出現がみられ，比較的高い荷重圧の tap が安定した間隔で遂行された。この場合，遅い眼球運動である SEMs の出現と時間的に対応して（時間軸の 700 秒前後），荷重圧が一時的に数百グラム低下する様子がみられた。時点 B では背景脳波に θ 波様徐波が短時間介入して α 活動の断続化が生じ，同時に明瞭な SEMs が連続的に出現した。このときの tap 運動は手の切り替えは維持されているものの，右手 tap の部分的欠落あるいは間隔延長，および一時的な荷重圧低下など，運動パラメータに一連の変化がみられた。こうした変容はその持続性の点からマイクロスリープの行動的表出を示唆するものと考えられた。時点 C では α 波の消失と脳波の徐波化（特に，中心部における頭頂部鋭波と紡錘波の出現）および運動経過が一層緩やかとなった SEMs の出現という入眠状態の特徴が現れた。このときの tap 運動は手の切り替え時間の大幅な延長，手の切り替え失敗，右手優位の低頻度 tap の断続的な現れが顕著となり，運動の崩壊を印象づけた。

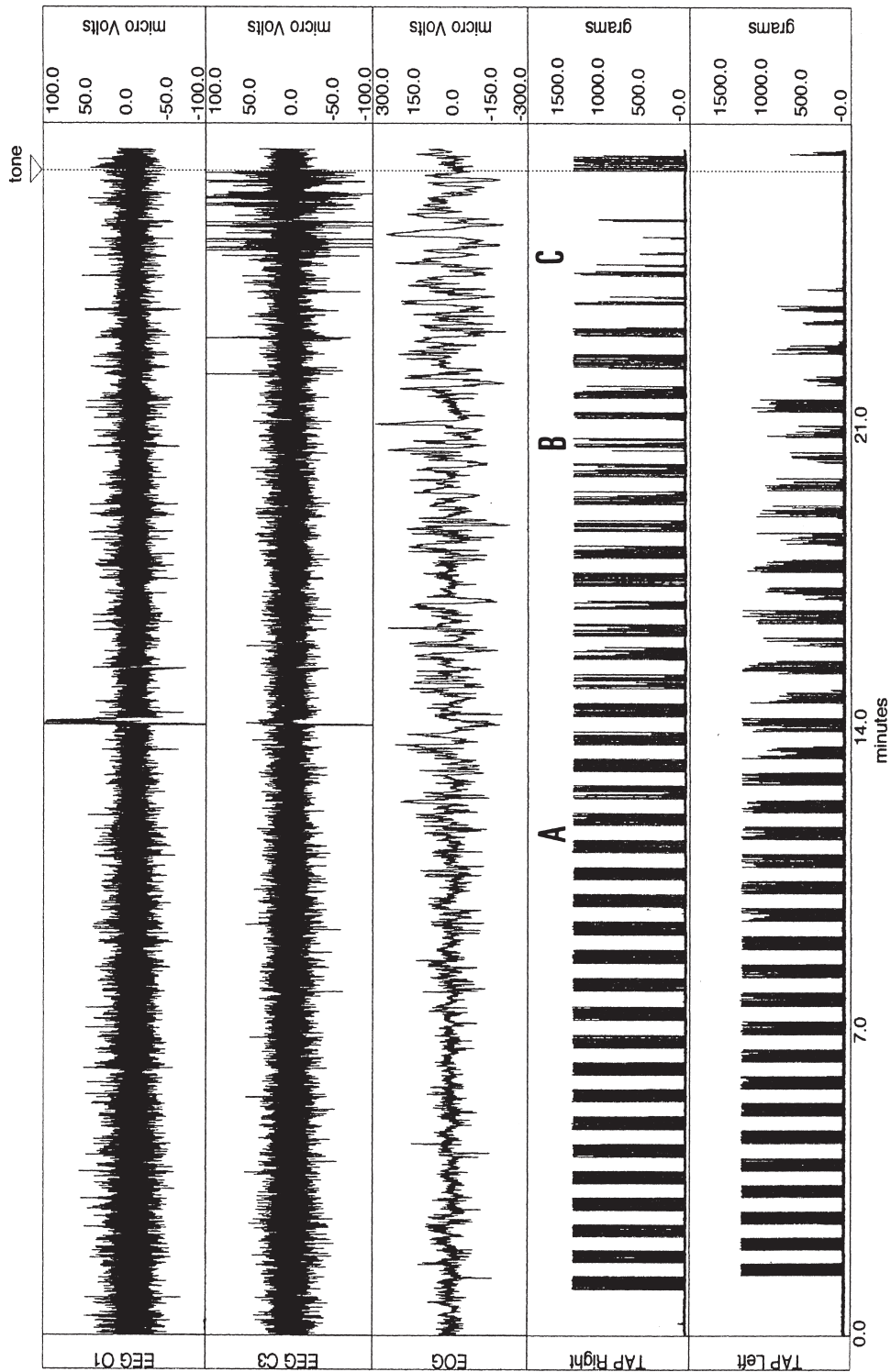


Fig. 2 初回の音刺激提示までの交代式 tap 運動のポリグラフ記録例 (圧縮図)

EEG O1 : 後頭部脳波, EEG C3 : 中心部脳波, EEG : 眼球運動, TAP Left : 左手 tap 運動, TAP Right : 右手 tap 運動, tone : 三角印 (▽) の時点で運動再開を促す音刺激が提示された (被験者 Ym)。

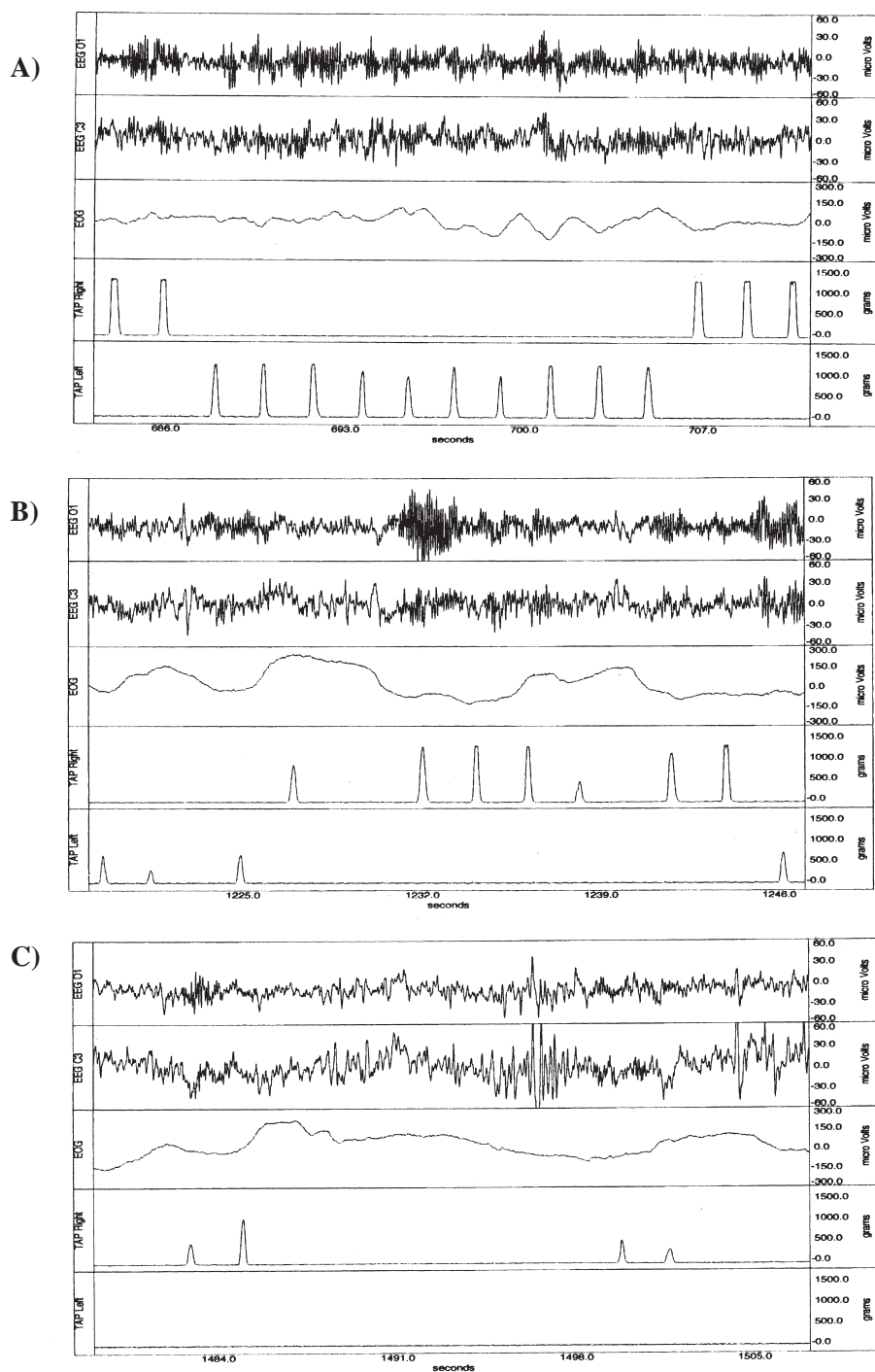


Fig. 3 脳波、眼球運動および交代式 tap 運動の記録（拡大図）

図 A, B, C はそれぞれ Fig. 2 の時点 A, B, C の記録に対応する。

マイクロスリープの行動的表出 初回の音刺激提示までの期間における tap 運動の変容を tap 列 (tap train) の点から調べた。ここで tap 列とは 1 秒前後の間隔で遂行されたスイッチ押しの並びを指し、実験手続きに従えば左右の手の切り替えのたびに 10 回のスイッチ押しが一行に並ぶ (Fig. 2 と Fig. 3A)。tap 列の識別は手の切り替えに基づいて行うことができるが、時には手の切り替えがないまま比較的長い間隔において同側の手で tap 運動が再開されるという事態も生じた。そこで、運動再開までの経過時間が 6 秒以上のものを手の切り替え失敗による tap 列として別途判定した。Fig. 4 a, b, c に、各 tap 列において計測した運動パラメータの時間変動を被験者別に示した。図の最上段から手の切り替え時間 (alternation gap), tap 数 (taps), tap 間隔 (interval), tap 荷重圧 (tap force), 緩徐眼球運動の出現数 (SEMs) および中心部脳波の α 出現率 (EEG Alpha) を tap 列の出現順にプロットした。tap 列における SEMs 出現数と α 出現率は次のように算出した。tap 列が複数の区画にわたって経過しやすいことを考慮し、任意の tap 列が及ぶそれぞれの区画で得られた SEMs 数と α 出現率に各区画で tap 列が占める時間率を重みとして掛け、その合計値を採用した。図の視察から、tap 列の変容は大まかに 3 つの状態に分けることができるという印象を得た。まず目につくのは実験開始当初の状態 (図中の state A) であり、その特徴は手続きにほぼ忠実な運動遂行であった。続いて、音刺激 (tone) の提示直前の状態が注意を引き、それは手の切り替え不能を特徴とする運動の崩壊状態 (state C) であった。最後に、これら両状態の特徴を部分的に示していると思われる第 3 の状態 (state B) をその中間に見いだした。これらの状態を区別する基準を検討したところ、(1) tap の一部欠損を初めて伴う tap 列 (taps<10) の出現を状態 B の開始とし、(2) 手の切り替え時間が 6 秒以上あるいは切り替え失敗の tap 列が 3 回連続出現する場合を状態 C の開始とすることで、状態の区別が概ね可能であることが分かった。

Table 1 tap 運動の 3 状態

	tap 列		tap 運動 / 列				生理指標	
	列の通し番号	観測数 (n)	回数 (n)	荷重圧 (g)	間隔 (sec)	切り替え (sec)	α 活動 (%)	SEMs (n)
被験者 Ym								
状態 A	(1-47)	47	10.0	1247.6	1.70	1.90	56.23	2.38
状態 B	(48-73)	10	10.0	1046.2	1.73	1.96	52.25	3.60
		16	7.3	754.0	1.78	4.49	43.22	4.06
状態 C	(74-80)	7	2.9	673.44	1.27	22.64	26.23	2.86
被験者 Ih								
状態 A	(1-33)	33	10.0	499.36	0.79	0.97	54.92	3.31
状態 B	(34-102)	37	10.0	483.33	0.72	1.01	46.65	2.79
		32	8.4	362.73	0.73	2.39	39.42	2.37
状態 C	(103-124)	22	5.5	288.80	0.53	13.62	33.29	1.56
被験者 Tn								
状態 A	(1-19)	19	10.0	506.21	1.52	1.89	62.87	1.62
状態 B	(20-60)	16	10.0	219.88	1.56	2.24	48.49	1.46
		25	6.6	144.67	1.63	4.44	40.53	4.44
状態 C	(61-74)	14	5.8	119.73	1.58	16.62	23.76	1.65

Subject: Ym

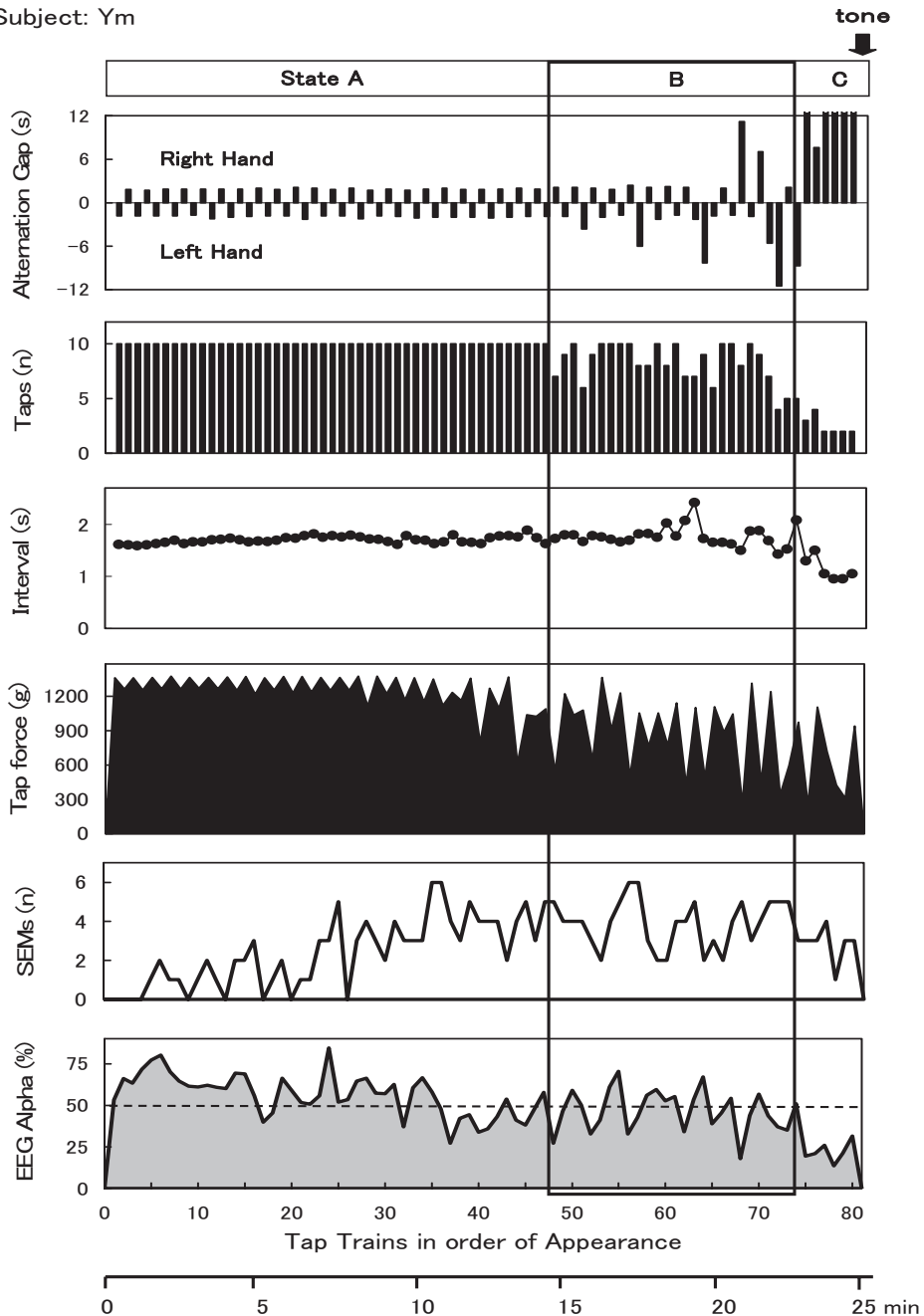


Fig. 4a tap 運動停止潜時中の tap 列の変容とマイクロスリープの行動的表出 (被験者 Ym)

tap 列の出現時刻に沿って生理・行動的変数をプロットした。最上段から、Alternation Gap : 左右の手の切り替え時間 (秒) Taps : tap 数, Interval : tap 間隔 (秒), Tap force : tap 荷重圧 (g), SEMs : 緩徐眼球運動の出現数 (n), EEG Alpha : 中心部脳波 α 活動の出現率 (%)。

Subject: Ih

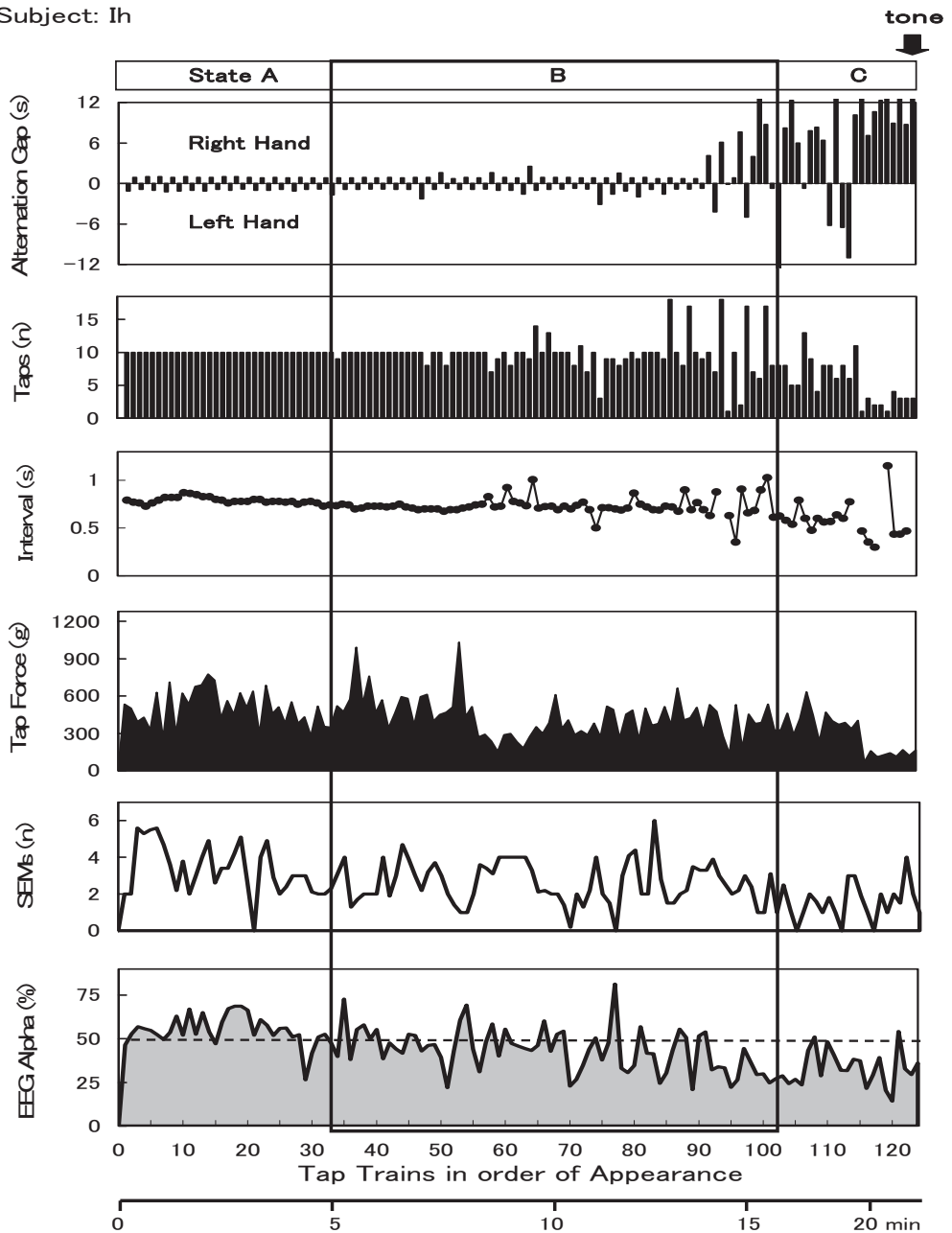


Fig. 4b tap 運動停止潜時中の tap 列の変容とマイクロスリープの行動的表出 (被験者 Ih)
図の説明は前図と同様。

Subject: Tn

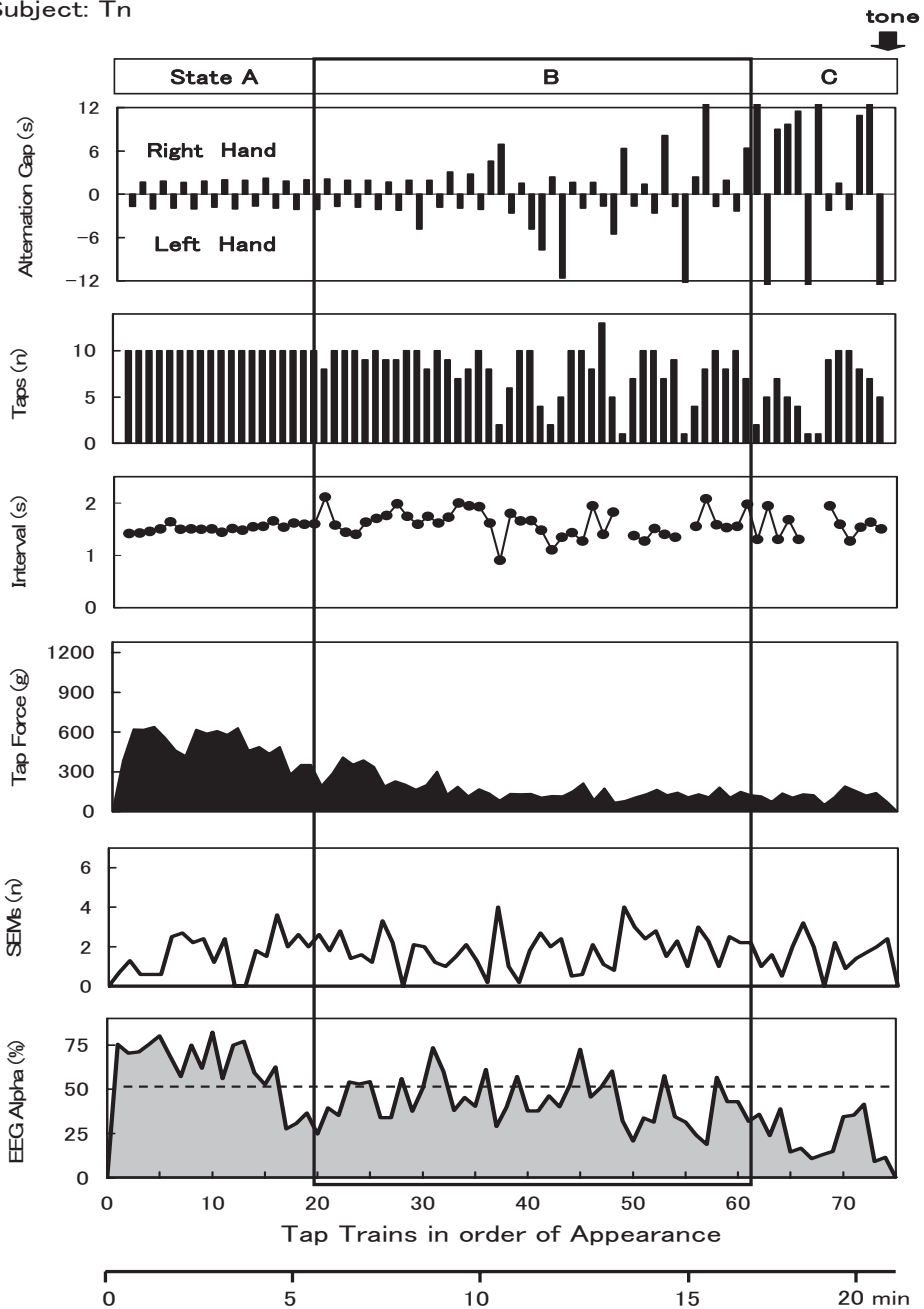


Fig. 4c tap 運動停止潜時中の tap 列の変容とマイクロスリープの行動的表出 (被験者 Tn)
図の説明は前図と同様。

上述の基準によって区別した3つの状態A, B, Cについて tap 列の様相を Table 1 に整理した。表からわかるように、状態Aは tap の回数、荷重圧および間隔並びに手の切り替え時間の点からみて正常な運動が維持された状態であり、生理的にも高い覚醒水準にあった（出現率 50%以上の α 活動）。状態Bは生理的には入眠状態に類した低い覚醒水準にあり、運動の誤動作と修復の繰り返しを特徴とした。つまり、出現率 50%未満の α 活動と高頻度の SEMs を背景に、tap 数と荷重圧のわずかな減弱（状態Aの 70%程度）、手の切り替え時間の延長傾向（状態Aの2～3倍）などの誤動作を伴う tap 列が現れる一方で、他方では手続きに忠実な tap 列が回復するという正誤運動の拮抗状態にあった（誤動作率は被験者 Ih が 46.4%, Tn が 61.0%, Ym が 61.5%）。状態Cでは誤動作の修復力が大きく減弱し、6秒を越える手の切り替え時間が顕著となった。その生理的な覚醒水準はさらに低下した（ α 活動の消失、SEMs の減少）。tap 間隔の平均には状態差はみられないが、その変動係数は状態A（34%）<状態B（43%）<状態C（58%）の順に増大した。

tap 列型の出現率 入眠過程の脳波・眼球運動段階との対応関係が確認されている tap 列の型の点から、状態Bの様相についてさらに検討を加えた。tap 列の基本型は実験手続きに忠実な標準型（normal type）、運動が途中で打ち切られて tap 数が 10 未満となる中断型（interrupted type）、tap 数が 10 を越える過剰型（overproduced type）の3類型に分かれる。先の報告（広重, 2001）では、途中で tap が抜け落ちる異型を基本型より細分したが、本稿ではそれらを一括して脱落型（missed type）とした。ここで脱落とは tap 間隔が初発 tap 列で求めた平均間隔+1標準偏差（秒）を越え、6秒未満と定義した。Table 2 に、4つの tap 列型の出現率を上述の状態A, B, C別に整理した。状態Aは標準型 tap 列のみで占められた。状態Bでは標準型がほぼ半減し、代わって中断型、脱落型、過剰

Table 2 tap 列出現率（%）の状態間比較

	tap列型				計	
	標準型	中断型	脱落型	過剰型		
被験者 Ym						
状態 A	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
状態 B	38.4	46.2	15.4	0.0	100.0	
状態 C	0.0	85.7	14.3	0.0	100.0	
被験者 Ih						
状態 A	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
状態 B	53.6	33.3	7.3	5.8	100.0	
状態 C	0.0	88.5	3.8	7.7	100.0	
被験者 Tn						
状態 A	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
状態 B	39.0	34.2	24.4	2.4	100.0	
状態 C	14.2	42.9	42.9	0.0	100.0	

型などの誤動作の占める割合が 60%以上 (Tn, Ym) あるいは 50%近く (Ih) と増え、多様な運動パターンが混在する形で運動の維持が図られていることが明らかとなった。状態 C では標準型が消失して中断型が優勢となり、状態 A とは違った意味での運動パタンの単純化が生じた。このように状態の違いに応じて tap 列型の出現率に差異が生じる傾向は 3 名の被験者でほぼ同様であった。

以上のように、状態 A は行動的にも生理的に十分に目覚めた状態であり、状態 C は運動停止を伴い、入眠 (sleep onset) に類した状態にあった。これに対し、状態 B はマイクロスリープの発現を示唆する特徴があった。つまり、不断に誤動作が侵入しつつもその修復を行うことで tap 運動の遂行が維持された。その生理的な覚醒水準は覚醒と睡眠の移行状態にある特徴を示した。

考察

マイクロスリープは覚醒状態に突如侵入する短時間の現象とされるが、これを睡眠とみなしてよいかどうかは学術的な論議が必要であるとされる (Harrison & Horne, 1996)。本研究は覚醒と睡眠の移行の連続性を考察するためのモデルとしてマイクロスリープに着目し、その行動的な現れを生理的な特徴記述の必要条件として実験的に検討した。マイクロスリープの行動的アプローチとして、本研究は覚醒維持の努力を求める一方で、自然な入眠経過の破壊が小さい被験者ペースの交代式 tap 運動を用い、同時に感圧センサをスイッチとして用いて個々の tap 運動パラメータの定量的計測を行った (広重・Dorokhov・保野, 1994)。

本研究結果は、マイクロスリープの行動的な現れを示唆する tap 運動の状態を明らかにした。それは状態 B と命名したもので、多様な運動パタンの誤動作が不断に侵入し、かつその修復を試みながら運動遂行自体を維持する特徴があった。この状態 B の出現は、行動的にも生理的にも目覚めた状態 A に後続し、運動停止の直前で睡眠の到来に近い状態 C に先行するという移行関係を示した。

マイクロスリープの行動的な臨床所見として従来知られている自動行動症候群 (automatic behavior syndrome) は、日常生活の作業場面 (車の運転, 食器洗い, コンピュータ操作, 料理など) の中で行為の自覚が突如消え失せ、方向や位置の空間定位あるいは時間的連続性についての意識が一時的に欠落して当人には自覚されない行動上の誤りとか生命に関わる危険な行為をくり返す症状である (Guilleminaut, Billard, Montplaisir, & Dement, 1975 ; Horne & Reyner, 1995)。Guilleminaut ら自動行動症候群について実験的な検討を加え、次のような結果を紹介している。日中の眠気を訴える睡眠障害者は作業行為の自覚が突如弱まって遂行能力が崩壊し、その際を目覚めの実感は乏しく、むしろ眠気との格闘状態にあったとしている。さらに、そのポリグラフ的所見によると、典型的な段階 1 記録が短い時間間隔で唐突に群発し、中心部と後頭部の脳波に同期性 θ 波が群発すると報告している。

同様に、マイクロスリープの行動的な現れと考えられるものとして、tap 運動の間隔延長がある。Carskadon と Dement (1979) が実施した SAT 課題 (a serial alternation task) は 2 個のマイクロスイッチを交互に規則的に押し続けるもので、基準時間の 2 秒より長いスイッチ押し間隔 (gap) を差し引いた残りの運動継続時間の割合 (tap 時間率) を覚醒水準の行動的測度としている。tap 時間率は、覚醒状態が高く持続するときは間隔 (gap) の延長が少ないので 100% 近い値をとり、反対に覚醒水準が低下すると間隔の延長を伴うので tap 時間率の低下が生じると仮定できる。事実、彼らの報告によると、tap 時間率は覚醒時の作業で高く (98.9%)、断眠中のうとうと状態で課した作業時に低下 (71.6%) したという。tap 作業課題 (a finger tap task) の成績を基準夜と断眠後の回復夜とで比較

した Casagrande ら (1996) によると、tap 運動の間隔 (ITI) が 5 秒および 10 秒と短いものは覚醒と睡眠の移行過程で生じることからマイクロスリープの行動的エピソードとされ、最長 60 秒の ITI (入眠潜時) から区別されるとした。

運動の実行機能と維持機能 (先行 tap から後続 tap への運動情報の受け渡し機能) の区別は tap 運動の理解にとって重要である。機械的スイッチを片手 (主に、利き手) で繰り返し押させる従来の研究においては、tap 運動の間隔延長が抹消の筋緊張の低下、時間知覚機能あるいは運動情報の受け渡しを司る上位機能の後退、さらには覚醒維持努力の減弱のいずれであるのか、その識別が持続し上困難と思われる。例えば、tap 時間率 (Carskadon & Kleitman, 1979) についてみると、覚醒水準の低下を把握する指標としての実用性はあるものの、運動制御のこういった面の変容をとらえた指標であるのかは曖昧である。本研究の交代式 tap 運動の手続きは tap 回数と手の切り替えの操作を含み、また荷重圧のアナログ量を連続計測することで、運動連鎖 (tap 列の形成) を維持する上位機能と個々の tap を実行する抹消機能との区別を試みた。その結果、運動連鎖の維持機能の変容は左右それぞれの手で遂行される tap 列型 (脱落型、中断型、時に過剰型) と手の切り替え時間の延長として現れ、個々の tap 遂行機能の変容は tap の荷重圧減少と間隔延長として現れた。両変容の間には一定の関連を認めた。

睡眠ポリグラフが睡眠経過の客観的なアプローチとして有力な方法であることに疑いはないが、マイクロスリープの特徴記述に段階 1 概念を援用する点には問題があろう。睡眠段階は、脳波の基礎律動波あるいは特徴波が一定の安定性を保持して経過するという前提に基づいた概念である。そうした前提が成立し難い状態を総称して段階 1 としているのが実情である。したがって、曖昧事象の寄せ集めである段階 1 概念によるマイクロスリープの記述は曖昧さを助長する危険が小さくない。事実、健常者のマイクロスリープを調べた研究 (Harrison & Horne, 1996) によると、段階 1 とした脳波パターンは多様かつ曖昧で判定者間の一致率がきわめて悪いことから、瞬目や緩徐眼球運動の補完指標の追加を必要としている。Harrison らは 5 秒区画毎に脳波パターン (θ 波、 α 波の欠如、頭頂部鋭波) と眼球運動 (緩徐眼球運動) を判読し、5 秒以上持続する 4-7Hz 波、 α 活動 (8-11Hz) の欠如、瞬目欠如、緩徐眼球運動あるいは明確な頭頂部鋭波の出現などの生理指標の複合的な組み合わせからマイクロスリープの特徴が記述できるとしている。

マイクロスリープの判定時間について、Harrison らの設定値の 5 秒は眠気の客観的検査法 (入眠潜時反復測定検査: MSLT) で用いられる 30 秒基準との比較を目的としたものであって、マイクロスリープの生理学的特徴を調べる上での最適長として選定されたものではない。本研究結果から、マイクロスリープの行動的な現れが示唆された状態 B において見出された tap 間隔の延長 (25 例) は tap が 1 つないし 2 つ欠落した時間長 (3~4 秒) が大半であった。加えて、手の切り替え時間の延長 (39 例) は約 9 割が 8 秒未満 (平均 5.5 ± 2.61 秒) であった。時間知覚 (主観的な 1 秒間隔) がそれに加味されている点を考慮すると、マイクロスリープはおおよそ 2 秒から 7 秒の時間経過をとるものと推測される。

引用文献

- Åkerstedt, T. 1988 Sleepiness as a consequence of shift work. *Sleep*, 11, 17-34.
- Anliker, J. 1963 Variations in alpha voltage of the electroencephalogram and time perception. *Science*, 140, 1307-1309.
- Carskadon, M. A. Dement, W. C. 1979 Effects of total sleep loss on sleep tendency. *Perceptual and Motor Skills*, 48, 495-506.
- Casagrande M., Braibanti, P., Gennaro, De., Violani, C., & Bertini, M. 1991 A tapping task as a behavioral index of sleep onset. *Journal of Sleep Research*, 20A, 230.
- Casagrande, M., Testa, P., Violani, C., Mastrantonio, N., & Bertini, M. 1994 A tapping task as measure of sleepiness in a behavioral multiple sleep latency test. *Journal of Sleep Research*, 3, Supplement 1, 39.
- Casagrande, M., Testa, P., Violani, C., Gennaro, De., & Bertini, M. 1996 Sleep onset latency and sleep-wake alternating pattern during sleep onset period: Effects of sleep deprivation evaluated by a finger tapping task (FTT). 10th Annual Meeting of APSS, Washington, D.C.
- Guilleminaut, C. Billard, M., Montplaisir, J., & Dement, W. C. 1975 Altered States of consciousness in disorders of daytime sleepiness. *Journal of the neurological Sciences*, 26, 377-393.
- Harrison, Y. & Horne, J.A. 1996 Occurrence of 'microsleep' during daytime sleep onset in normal subjects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 98, 411-416.
- 広重佳治・Dorokhov, V.B.・保野孝弘 1994 入眠期の随意運動に関する行動生理学的研究. 日本心理学会第 58 回大会発表論文集, 509.
- 広重佳治 1999 入眠期眼球運動の自動検出. 脳波と筋電図, 27, 421-432.
- 広重佳治 2001 入眠状態における tap 運動の変容と EEG・EOG 段階. 日本心理学会第 65 回大会発表論文集, 41.
- 平野晋吾・広重佳治 2001 入眠過程における脳波 α 活動の時間変動とその自動計測. 鳥取大学教育地域科学部紀要 (教育・人文科学), 2, 25-33.
- 広重佳治 2002 入眠状態に関する生理心理学的研究. 博士論文 (筑波大学).
- Hori, T., Hayashi, M., & Morikawa, T. 1994 Topographical EEG changes and the hypnagogic experience. In R.D. Ogilvie & J.R. Harsh (Eds.), *Sleep onset-Normal and abnormal processes*. Washington, D.C: American Psychological Association. Pp.237-253.
- Horne, J.A. Reyner, L.A. 1995 Sleep-related vehicle accidents. *British Medical Journal*, 310, 565-567.
- Johnson, L.C. 1982 Sleep deprivation and performance. In W. Webb (Ed.), *Biological Rhythms, Sleep and Performance*, Pp.111-141.
- Kamiya, J. 1961 Behavioral, subjective, and physiological aspects of drowsiness and sleep. In D.W. Fiske, & S.R. Maddi (Eds.), *Functions of varied experience*. Homewood Illinois: Dorsey Press, Pp. 145-174.
- Kleitman, N. 1987 *Sleep and Wakefulness*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Ogilvie, R. D. Wilkinson, R. T. Allison, S. 1989 The detection of sleep onset: Behavioral, physiological, and subjective convergence. *Sleep*, 12, 458-474.
- Rechtschaffen, A. 1994 Sleep onset: Conceptual issues. In R.D. Ogilvie & J.R. Harsh (Eds.), *Sleep onset-Normal and abnormal processes*. Washington, D.C: American Psychological Association, Pp.3-17.
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. 1968 *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. Washington, D.C.: Public Health Service, U.S. Government Printing Office.

ABSTRACT

Experimental examination of microsleep in man by a behavioral maintenance of wakefulness test

HIROSHIGE Yoshiharu

Department of Regional Education, Faculty of Regional Sciences, Tottori University

Microsleep is usually defined as a sudden, short-lasting burst of stage 1 sleep although it is still left open whether the phenomenon should be considered as sleep. With all clinical observations, such as automatic behavior syndrome in hypersomniacs and mood and cognitive psychomotor performance in depressed patients, few basic experimental researches have been attempted on microsleep. The present study was aimed at examining the appearance of microsleep by using a behavioral maintenance of wakefulness test where subjects were instructed to perform a dual alternation task of finger tapings for 40 minutes: Right-hand tapping was performed successively 10 times and then switched into left-hand tapping, which in turn was followed by right-hand one and so on. The results indicated the specific state to microsleep was present, behaviorally characterized as the repeated occurrence of mistakes and corrections of tapping movements against the physiological background of intermitted EEG alpha activity and frequent slow eye movements. Microsleep seems to last roughly from 2 to 7 seconds, judging from delays of inter-tap intervals and alternation gaps between both hands.